中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 50(2): 24～37 (2001)

水稻葉面積估算係數的品種變異性分析[1]

陳烈夫[2] 魏夢麗[3] 呂椿棠[3] 呂秀英[3]

摘要：水稻全株葉面積可以利用葉長 (L) 及最大葉寬 (W) 乘以某個葉面積係數 ($K_{L\times W}$) 之非破壞性方法進行快速估算，甚至於更省工省時地只用葉長乘以某個葉面積係數 (K_L) 以有利於估算未完全展開葉片的葉面積。本研究首先在1999年以35個國內歷年來育成的稉稻品種及15個常作為育種親本之其他國家來源的稉稻品種，共50個參試品種之試驗資料，來探討這兩種K係數在不同品種間的變異性。試驗結果發現，國內與國外品種的兩種K係數的頻度分布皆呈常態分布，但國內品種K值分布變異較小而國外品種K值分布變異較大。國內品種之平均$K_{L\times W}$值為0.70 ± 0.01，平均K_L為0.90 ± 0.09；國外品種之平均$K_{L\times W}$值則為0.72 ± 0.03，平均K_L為0.86 ± 0.14。$K_{L\times W}$在品種間的變異性較K_L為小。$K_{L\times W}$ 和K_L與基因型的葉形（W/L比例）有明顯正相關關係，但由於國內育成品種的葉形較為固定（W/L皆近於0.04），故其葉面積估算係數並不會受到基因型種類不同而影響其估值大小，因此國內稉稻品種可以共同地利用葉長及最大葉寬乘以0.70來簡易估算出其全株葉面積。為進而檢測這個共同$K_{L\times W}$值的預測準確度，本研究從上述國內育成品種中逢機選取其中11個品種，於2000年再進行栽培試驗，利用新資料驗證結果，其所估計的全株葉面積與實測葉面積間的差異皆在5％誤差率可接受程度之內。

關鍵詞：水稻、葉面積、品種變異、分布檢定、葉形。

前　言

測量葉面積是作物生育過程及生理性狀重要指標之一，一般皆以葉面積測量儀將葉面積記錄下來，再應用各種分析方法進行分析，然而儀器的測定固然方便，但必須將葉片剪下，此種破壞性取樣將無法測定葉面積連續生長的變化，而且非常耗費時間和人力，故限制了試驗的規模及取樣的大小。葉面積估算模式的發展應建立在可信且快速的非破壞方法上[11]。目前很多作物都已成功地利用線性測量的模式，例如一些非破壞性可測性狀（如葉長、葉寬）乘以一個葉面積係數 (K) 來預測葉面積[4, 9, 10, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 26, 29, 30]。Palaniswamy and Gomez[21]是最早求出美國水稻的葉面積在乾燥及潮濕季節分別為其葉長及最大葉寬的乘積之0.73與0.75倍。針對國內水稻品種，陳等[6]進行二十四種非破壞性葉面積估算模式的估算、驗證與評估，發現水稻劍葉和下位葉的葉相雖然往往有差異，但似乎不需要區分劍葉和下位葉有不同的K係數；國內栽培品種臺稉8號、臺稉9號、臺稉10號及臺農67號的全株葉面積各為所有葉片的葉長和最大葉寬之乘積的0.70、0.71、0.70及0.71倍，由於其值十分接近，故可進而簡單地利用0.71的平均K值來共同估計這四個水稻品種的全株葉面積。但由於最大葉寬在田間實際操作時容易產生測量誤差，也無法用以有效估算出未完全展開葉片的葉面積，因此陳等[6]也指出在參試基

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第2065號。

2. 本所農場管理室助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

3. 本所農藝系助理研究員、助理研究員及研究員。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

因型有限但取樣植株很多時（例如評估環境因素對生長之影響），使用更省工省時的模式是有其必要的，像是僅利用葉長的簡便模式來推估水稻全株葉面積，而臺稉8號、臺稉9號、臺稉10號及臺農67號可分別利用所有葉片的葉長乘以0.92、0.98、0.94及0.91來快速估算其全株葉面積；葉長模式在該四個水稻品種間的變異較大於葉長和葉寬估算模式。不同水稻品種的葉部性狀可能互有不同，因此除了要考慮葉面積生長可能受到環境效應影響以外，葉面積係數K的大小在品種之間未必一致。因此有必要就K係數在不同品種間的變異性再予詳細研究探討，冀以尋得一個可以通用於國內所有基因型的共同K係數估計值，俾利於育種施行程序中擬評估之基因型數甚多的試驗場合。

本研究首先以35個國內歷年來育成的稉稻品種及15個常作為育種親本之其他國家來源的稉稻品種（系），共50個參試品種（系）於1999年在本所試驗田區進行之一期作栽培試驗資料，利用葉長及葉寬模式，或僅利用葉長模式來探討兩種K係數在不同品種間的變異性。並針對可能存在的共同K係數估值，進而利用第二年栽培試驗的資料作為模式驗證數據，以檢測其預測準確度。

材料與方法

一、試驗材料之栽培

本試驗分別於1999年及2000年一期作在行政院農業委員會農業試驗所農場田區進行。1999年試驗所使用之水稻品種材料列如表1。編號1～35為國內歷年來育成的稉稻品種（系），編號36～50為常作為育種親本之其他國家來源的稉稻品種（其中36～48為日本品種，49～50為菲律賓品種）。2000年試驗供作模式驗證的品種則是從上述品種中選出的11個國內育成品種為材料，其中包含目前國內栽培面積較多的5個推廣品種（高雄139號、臺稉8號、臺稉9號、臺稉10號、臺農67號），以及從其餘國內品種中所逢機選出的6個品種。水稻栽培時之行株距為30 × 15cm，採單本植，小區面積1.2 × 3m，重複三次，採用完全逢機區集設計。施用之肥料用量均為$N : P_2O_5 : K_2O = 150 : 58 : 90$ kg/ha，其中氮肥60 kg/ha與磷、鉀全量以基肥施用，其餘之氮肥分兩次用為追肥；栽培管理依慣行法為之。

二、葉片性狀之調查測量

各水稻品種生長至齊穗期時，兩年分別自各小區逢機取樣5株及10株，三重複，故1999年及2000年各取樣15及30株。由於水稻葉片在摘下後很容易因水分蒸散而導致葉片捲曲，而使得葉寬不易準確測得，因此本研究將各取樣植株所有葉片平鋪並黏貼於畫有3cm比例尺的白色壓克力板上，以高解析度數位相機（德國Agfa ePhoto 1680）將每一葉片的影像攝影存檔。然後，利用影像測量軟體(SigmaScan Pro)[28]讀取影像檔案並測量各葉片的葉長、最大葉寬及葉面積。利用最新發展的影像處理技術，不但能更快速且準確地測量葉片各項性狀[11]，同時其所測得的葉面積值與傳統的葉面積儀所得者之間的相關係數亦高達0.98[3]；葉片影像可建檔永久保存，有利於重複測量，也是運用影像處理技術於葉片性狀調查的優點之一。

三、葉面積係數估算及統計分析

本研究探討兩種葉面積估算模式：同時利用葉長和最大葉寬，或僅利用葉長。所估得的葉面積係數分別可由下式求得：

$$K_{L\times W} = TLAm/\sum(L\times W)$$

$$K_L = TLAm/\sum(L)$$

式中TLAm為每株實際測量的全株葉面積，L為各個葉片的葉長，W為各個葉片的最大葉寬。

將1999年各品種進行K係數（$K_{L\times W}$或K_L）的估算後，利用分布檢定探討這些K估值在不同品種間變異分布的特徵，如測定變值的趨中性 (central tendency)、分散度 (dispersion)、分布偏歪度 (skewness) 和曲線峰形 (kurtosis) 之尖平等。若K值趨向於集中在某一個重心位置，則該趨中性值可作為族群的代表值，常用的趨中性介量有平均數 (mean)、中量 (median)、眾數 (mode)等。頻度分布之廣狹，即分散

表1. 五十個參試粳稻品種名稱及其來源

Table 1. Name and source of 50 tested japonica rice varieties

Variety name	Chinese name	Source	Variety name	Chinese name	Source
1 Chianan 4	嘉南4號	Taiwan	26 Taikeng Glutinous 5	臺粳糯5號	Taiwan
2 Chianungyu 2574	嘉農育2574號	Taiwan	27 Tainung 34	臺農34號	Taiwan
3 Haulien 18	花蓮18號	Taiwan	28 Tainung 45	臺農45號	Taiwan
4 Hsinchu 52	新竹52號	Taiwan	29 Tainung 61	臺農61號	Taiwan
5 Hsinchu 62	新竹62號	Taiwan	30 Tainung 67	臺農67號	Taiwan
6 Hsinchu 64	新竹64號	Taiwan	31 Tainung 68	臺農68號	Taiwan
7 Hualienkang 12	花蓮港12號	Taiwan	32 Taipei 12	臺北12號	Taiwan
8 Kaohsiung 139	高雄139號	Taiwan	33 Taipei 173	臺北173號	Taiwan
9 Kaohsiung 142	高雄142號	Taiwan	34 Taipei 191	臺北191號	Taiwan
10 Kaohsiung 6	高雄6號	Taiwan	35 Taitung 26	臺東26號	Taiwan
11 Kaohsiung 20	高雄20號	Taiwan	36 Hokuriku 100	北陸100	Japan
12 Kaohsiung 64	高雄64號	Taiwan	37 Kinmaze	金南風	Japan
13 Nungyu 1342	臺育1342號	Taiwan	38 Koshihikari	越光	Japan
14 Taichung 65	臺中65號	Taiwan	39 Nohrin 33	農林33號	Japan
15 Tachung 190	臺中190號	Taiwan	40 Nohrin 37	農林37號	Japan
16 Taichung Native 1	臺中在來1號	Taiwan	41 Nohrin 41	農林41號	Japan
17 Taikeng 1	臺粳1號	Taiwan	42 Nohrin 46	農林46號	Japan
18 Taikeng 2	臺粳2號	Taiwan	43 Oho-ina	大稻	Japan
19 Taikeng 4	臺粳4號	Taiwan	44 Reinei	黎明	Japan
20 Taikeng 5	臺粳5號	Taiwan	45 Tadorokiwase	轟生早	Japan
21 Taikeng 6	臺粳6號	Taiwan	46 Tareho	タレ穗	Japan
22 Taikeng 8	臺粳8號	Taiwan	47 Waiseito	矮性福	Japan
23 Taikeng 9	臺粳9號	Taiwan	48 Wasenishiki	早生錦	Japan
24 Taikeng 10	臺粳10號	Taiwan	49 Balilin		Philippine
25 Taikeng 13	臺粳13號	Taiwan	50 Malaigit Pirurutong		Philippine

度之不同，常用的分散度統計量有變域 (range)、標準偏差 (standard deviation)、變異係數 (coefficient of variation) 等。分布的重心位置可能並不在正中央，當有較多變值落在分布眾數的左側（高峰在右），表示分布歪度向左偏斜（負偏歪），倘多數偏於值較大的一方（高峰在左），則其歪度向右偏斜（正偏斜）。K值集中位置的數量愈多，分布呈尖峰態 (leptokurtosis)，表示該趨中性值的代表性也愈強；反之，分布背離中心向左右離散，則呈現平闊峰態 (platykurtosis)。而常態分布 (normal distribution) 是一個對稱（歪度=0）的鐘形曲線，其呈現的峰形被定義為是一個常峰 (normal kurtosis)。一般以常態分布曲線的峰度為標準，定其峰度為適中峰度，較其尖者為尖峰度，較其平者為平峰度。一般統計分析都是假設變値之變異是常態分布，但很多情況下，觀測的頻度分布往往不成常態。本研究針對K係數進行分布檢定之主要目的有二：(1) 檢測K值的集中程度，冀以尋得一個可以代表參試水稻族群的共同K值，(2) 瞭解K值分布偏歪的形態，以探究造成K係數在品種間發生變異的可能原因。

本研究之分布檢定係依據SAS (Statistical Analysis System)[25]套裝統計分析軟體進行運算。測定變值分布的歪度及峰度之統計方法不只一種，而SAS[2]採用Fisher氏的Υ_1係數為歪度介量和Υ_2係數為峰度介量：$\Upsilon_1 = 0$為對稱分布，$\Upsilon_1 > 0$分布向右偏斜，$\Upsilon_1 < 0$分布向左偏斜。$\Upsilon_2 = 0$為常峰，$\Upsilon_2 > 0$為尖峰，$\Upsilon_2 < 0$為平峰。Υ_1，Υ_2都是族群介量，由逢機樣品所得之估值稱為g_1, g_2統計量，並可在常態分布之前提下進行顯著性測驗，但常態分布前提往往不符，尤其在小樣品中，歪度和峰度的顯著性甚不可

靠[2, 8]。因此，欲探明分布的偏歪及峰形，除了根據測定介量之估算及其顯著性測驗以外，尚應利用觀測頻度分布直方圖與常態分布配合曲線間之比較觀察，以補其缺點。

在K值與葉形之變異均符合常態分布之統計前提下，本研究並進而利用簡單相關分析以探討K係數品種變異性與葉形之間的關係。雖然形狀很難定義，但對於不是很複雜的橢圓形或長方形，大多是以其寬度對長度之比例 (W/L) 來表示，此不但清楚簡單，也能容易地將形狀之間的差異標準化[24]。W/L並可表達葉形的伸長 (elongation) 程度，圓形及正方形具有最大的W/L值[31]。因此，本研究採以W/L作爲水稻的葉形指標 (leaf shape index)。

爲使所建立之水稻葉面積估算模式能更趨完善，進而利用第二年之30株葉片測量資料作爲模式驗證數據以檢測共同K值的預測準確度。根據所估算的葉面積與實際測量的葉面積之間的離差，估算平均誤差 (mean deviation) 和平均誤差率 (mean percentage of deviation, %) [4, 6]，其計算公式如下：

$$MD = \left(\sum_{i=1}^{p} \left| TLAm_i - TLAe_i \right| \right) / p$$

$$MPD(\%) = \left(\sum_{i=1}^{p} \left| TLAm_i - TLAe_i \right| \times 100 / TLAm_i \right) / p$$

式中TLAm爲實際測量的全株葉面積，TLAe爲由預測模式所估得的全株葉面積，p爲預測株數。

本研究之各項統計分析均依據SAS[25]統計分析軟體於個人電腦建檔及運算，並利用SigmaPlot軟體繪圖[27]。

結果與討論

一、葉面積估算係數在品種間的變異分布

50個稉稻品種同時利用葉長和最大葉寬，或僅利用葉長之葉面積估算模式所估得的K係數（$K_{L\times W}$、K_L）及其變異係數（CV值），列如表2。所有品種的實測全株葉面積 (TLA) 和葉形指數 (W/L)，亦示於表2。由表中CV值顯示，雖然各品種在不同植株間的葉面積變異很大，且葉片間的葉形也有差異（本研究取樣在齊穗期，劍葉和其他下位葉的葉相往往有異，此造成表2中W/L的CV值明顯較高），但葉面積估算係數在植株間大致都很穩定，而$K_{L\times W}$之變異性更小於K_L。

由圖1顯示，所有50個品種之$K_{L\times W}$分布似呈向右偏斜的尖峰形態（常態檢定值W = 0.934與1之差異達5％顯著水準但未達1％水準，歪度＝1.038極顯著大於0，峰度＝1.553亦顯著大於0）。若分開國內及國外品種來看，國內35個品種之$K_{L\times W}$呈常態分布（W = 0.966接近於1，且歪度及峰度各等於-0.386及0.239甚接近0），其平均值及中量皆爲0.70，標準偏差僅0.01，CV值爲1.98%；國外15個品種之$K_{L\times W}$亦呈常態分布（W = 0.945接近於1，且歪度＝0.240及峰度＝ -1.100皆與0無顯著差異），其平均值及中量皆爲0.72，標準偏差爲0.03，CV值爲4.54%。顯然，國內品種與國外品種的$K_{L\times W}$值是兩個不同的常態分布族群，而所有50個品種之$K_{L\times W}$值的頻度分布則爲混合型常態分布 (normal mixture)。國內品種$K_{L\times W}$分布的變異相當小且都集中在0.70附近，故吾人應該可以利用葉長及最大葉寬乘以0.70 ± 0.01來簡易估算出國內稉稻品種的全株葉面積。至於$K_{L\times W}$值在國外品種之間的變異則較大，估值範圍在0.68～0.78之間，平均$K_{L\times W}$值則爲0.72 ± 0.03。

由圖2顯示，所有50個品種之K_L的頻度分布呈對稱的常態分布（W = 0.972接近於1，且歪度＝0.375及峰度＝0.149皆近於0）。若分開國內及國外品種來看，國內35個品種之K_L爲常態分布（W = 0.940接近於1，歪度＝0.902及峰度＝1.839與0之差異皆達5％顯著水準但未達1％水準），其平均值爲0.90，中量爲0.91，標準偏差爲0.09，CV值爲9.81%；至於國外15個品種的K_L值亦呈常態分布（W = 0.908接近於1，歪度＝0.549及峰度＝-1.064皆與0無顯著差異），其平均值爲0.86，中量爲0.80，標準偏差爲0.14，CV值爲16.80%。比較國內及國外品種的K_L值常態分布曲線，顯然國內品種

表2. 五十個稉稻品種之葉面積估算係數 ($K_{L\times W}$, K_L)、實測之植株總葉面積 (TLAm) 及葉形指數 (W/L)

Table 2. Estimated leaf area coefficients from predictive models ($K_{L\times W}$, K_L), measured total leaf area per plant (TLAm) and leaf shape index (W/L) for 50 japonica rice varieties

Variety [z]	$K_{L\times W}$	CV(%) [y]	K_L	CV(%)	TLAm	CV(%)	W/L	CV(%)
1	0.703	1.05	0.944	2.24	1242.3	13.40	0.042	33.36
2	0.688	0.63	0.863	3.43	1586.9	14.15	0.039	36.38
3	0.726	1.05	1.182	4.30	1254.1	41.16	0.036	25.72
4	0.686	1.61	0.892	4.53	1613.8	23.67	0.037	31.85
5	0.698	0.52	0.959	4.65	2047.7	10.49	0.037	34.71
6	0.701	0.50	0.830	2.86	1755.8	4.44	0.036	35.56
7	0.689	1.40	0.922	5.26	1271.1	16.85	0.040	31.78
8	0.712	1.41	0.800	4.26	1041.8	18.99	0.040	26.76
9	0.694	1.30	0.857	3.48	1814.7	13.18	0.039	38.55
10	0.707	1.49	0.961	2.60	1560.3	11.89	0.039	37.06
11	0.710	1.28	0.910	3.59	1830.3	24.14	0.036	32.18
12	0.690	1.14	0.912	1.59	1387.9	14.30	0.039	32.28
13	0.704	0.92	0.804	4.65	420.6	52.42	0.023	20.86
14	0.699	0.40	0.816	1.74	1224.8	24.36	0.037	28.65
15	0.696	2.25	0.823	6.24	1300.5	27.72	0.043	34.82
16	0.724	0.99	0.811	1.37	841.0	5.90	0.038	43.10
17	0.688	1.01	0.836	2.47	1250.0	11.15	0.045	25.99
18	0.686	0.46	0.933	4.20	2078.3	9.13	0.037	29.79
19	0.711	0.76	0.925	1.80	1851.1	8.66	0.045	33.39
20	0.690	1.60	0.812	4.46	1580.7	11.35	0.036	33.21
21	0.700	1.38	0.970	3.61	2417.8	19.09	0.038	30.48
22	0.710	1.11	0.966	0.83	1452.9	17.38	0.040	31.23
23	0.727	0.69	1.050	1.85	2104.2	11.04	0.042	35.47
24	0.712	1.02	0.941	3.00	1277.8	13.30	0.038	35.02
25	0.719	1.33	0.952	5.73	1218.0	22.33	0.042	33.83
26	0.704	0.78	0.817	1.55	857.2	15.18	0.044	26.28
27	0.713	0.32	0.736	2.69	1686.8	5.33	0.036	31.49
28	0.699	1.02	0.884	2.86	1258.2	21.64	0.041	26.57
29	0.708	0.85	0.951	3.40	1787.7	12.06	0.040	33.21
30	0.713	1.36	0.869	2.67	867.8	7.52	0.044	34.96
31	0.671	0.88	0.796	3.22	1564.1	7.47	0.039	28.19
32	0.667	3.23	0.876	3.31	1408.4	15.58	0.039	33.48
33	0.713	1.63	1.065	2.17	1553.5	12.84	0.045	31.25
34	0.707	0.70	0.940	5.65	1694.7	14.71	0.036	27.11
35	0.693	0.76	0.924	1.61	1037.1	8.92	0.035	32.93
36	0.722	1.40	0.739	0.77	772.7	13.08	0.049	25.07
37	0.678	1.72	0.783	2.30	1819.1	12.51	0.040	24.87
38	0.704	1.95	0.708	1.99	889.6	7.60	0.040	24.43
39	0.760	3.59	0.802	3.72	456.1	9.89	0.056	32.41
40	0.745	0.74	0.895	1.09	738.0	30.47	0.066	22.29
41	0.715	0.62	1.109	2.61	2177.4	29.13	0.037	39.18
42	0.693	1.42	0.701	3.81	1060.5	8.48	0.039	34.40
43	0.681	1.10	0.895	2.98	1569.1	10.23	0.045	29.42
44	0.726	1.31	0.965	3.27	1698.3	24.75	0.045	26.66
45	0.677	1.91	0.734	2.81	1659.7	8.27	0.038	33.65
46	0.691	0.98	0.916	5.67	1668.4	13.19	0.041	41.25
47	0.778	0.85	1.060	3.67	680.2	33.52	0.073	20.14
48	0.761	2.35	0.767	3.43	723.8	25.90	0.048	20.83
49	0.746	1.40	1.067	5.06	974.2	12.96	0.059	23.33
50	0.724	1.31	0.683	4.28	701.3	25.08	0.027	42.84

[z] see Table 1.

[y] coefficient of variation.

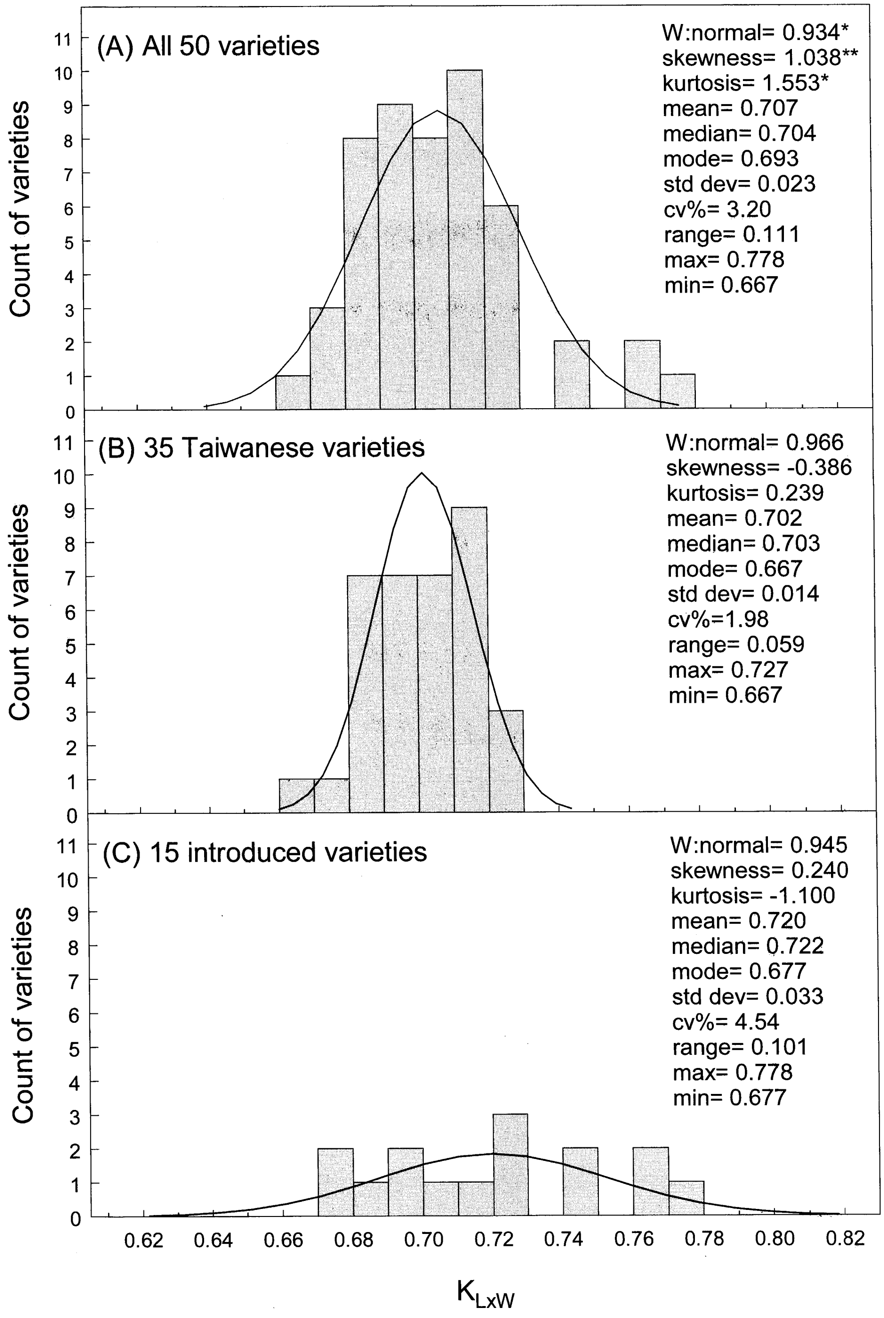

圖 1. (A)所有，(B)國內，(C)國外稉稻品種的葉面積估算係數 K_{LxW} 之分布。(直方圖爲觀測之頻度分布，曲線爲配合之常態分布；*, ** 爲假說測驗結果各達 5 及 1 %顯著性水準)

Fig. 1. Distribution of the K_{LxW} coefficient for estimating leaf area of japonica rice from (A) all, (B) Taiwanese, and (C) introduced varieties. (Histogram for observed frequency distribution, and fitted curve for expected normal distribution; *, **: significant at 5 and 1% level under the test of hypothesis)

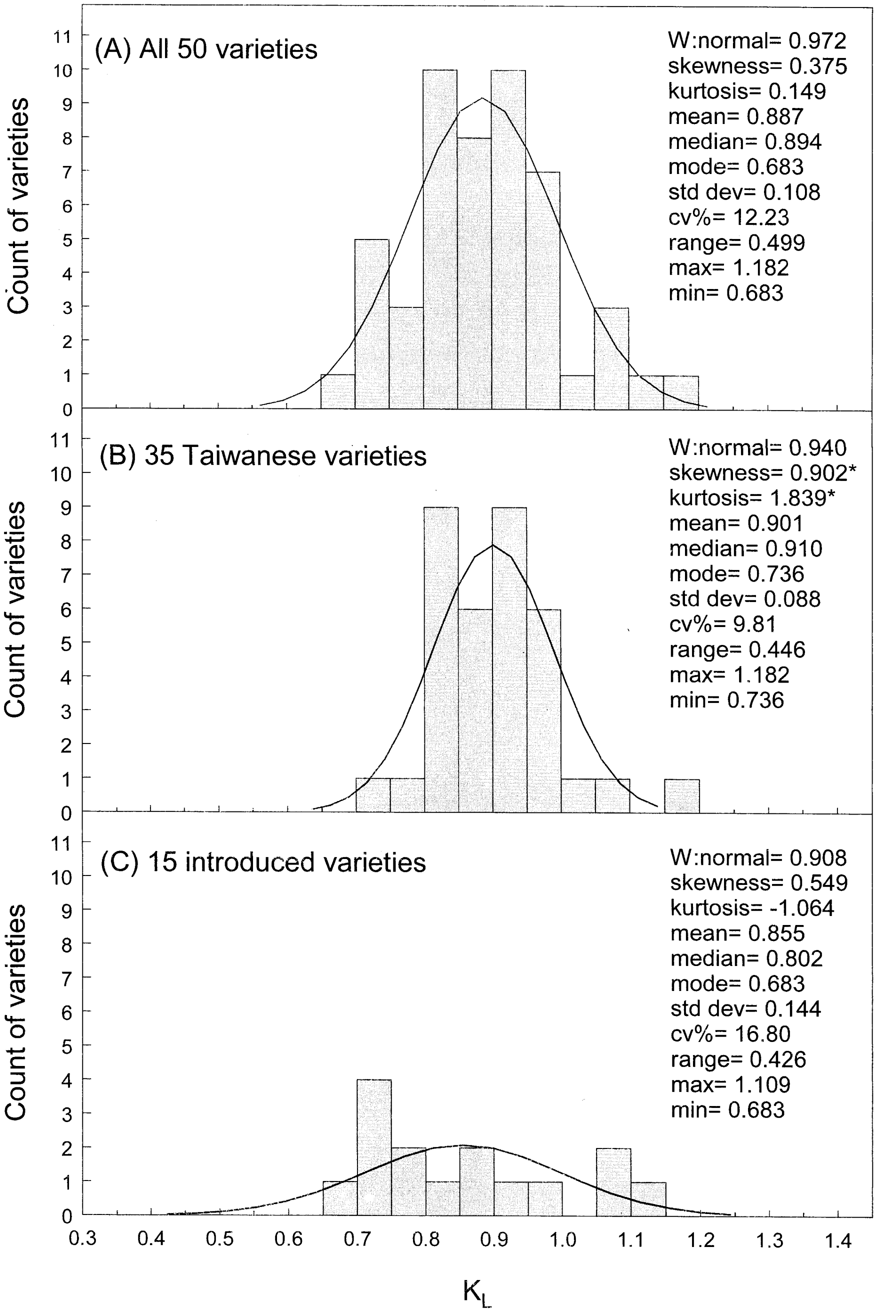

圖2. (A)所有，(B)國內，(C)國外稉稻品種的葉面積估算係數K_L之分布。（直方圖爲觀測之頻度分布，曲線爲配合之常態分布；*, **爲假說測驗結果各達5及1%顯著性水準）

Fig. 2. Distribution of the K_L coefficient for estimating leaf area of japonica rice from (A) all, (B) Taiwanese, and (C) introduced varieties. (Histogram for observed frequency distribution, and fitted curve for expected normal distribution; *, **: significant at 5 and 1% level under the test of hypothesis)

的 K_L 值分布之變異較小。

二、葉面積估算係數與葉形之間的關係

在探討葉面積估算係數與葉形間的關係之前，有必要先瞭解葉形在各品種間的變異性。由圖 3 顯示，所有 50 個品種之葉形指數 (W/L) 的頻度分布不是一個常態分布，而呈極明顯的右偏斜尖峰形態（W = 0.811 偏離 1，且歪度＝ 1.754 及峰度＝ 5.638 皆極顯著大於 0）。若分開國內及國外品種來看，國內 35 個品種之 W/L 呈左偏斜尖峰的非常態分布（W = 0.853 偏離 1，且歪度＝-1.683 極顯著小於 0 而峰度＝ 6.968 極顯著大於 0），W/L 之平均值及中量均爲 0.04，標準偏差爲 0.004，CV 值爲 10.30％；國外 15 個品種之 W/L 則呈常態分布（W = 0.931 接近於 1，且歪度 =0.759 及峰度 =0.394 皆接近 0），其平均值及中量均爲 0.05，範圍在 0.03 ～ 0.07 之間，標準偏差爲 0.037，CV 值爲 25.68%。顯然，除了編號 13 的臺育 1342 號之葉形較狹長（W/L = 0.023，如表 2 所示，該品系之存在也是造成圖 3-B 之頻度分布向左偏斜的主要原因，若不計入該品種，則國內品種之 W/L 分布呈常態分布）外，其他 34 個國內育成稉稻品種的葉形指數似乎都極爲固定，W/L 皆在 0.04 左右。按此是因爲國內對於水稻之育種工作通常選拔適於密植栽培及對氮素具高反應能力的株型 (plant type)[7]，在諸多與理想株型有關的形態性狀中，以短桿及較小而直立的葉片最受重視，如此有助於提升光能利用效率，在密植與重氮肥栽培條件下可以達到增產目的[5,12,14,18]，尤其水稻最上位 2 至 3 葉應小而直，且在相同葉面積下，具較多且較短葉片株型的品種，產量潛能亦較高[19]。而林[1]亦指出，國內大部分的稉稻品種譜系中，都含有台中 65 號（該品種爲自光復初期到民國 45 年期間栽培面積最廣的品種），彼此間有較高的親緣係數。此或也是國內稉稻品種葉片性狀較爲固定之緣故。

從上述分布檢定結果得知，國內及國外品種的 K 係數（$K_{L\times W}$ 或 K_L）及葉形指數分屬於兩個不同的常態分布族群（若葉形不計入編號 13 的臺育 1342 號），因此進而分開國內及國外品種來分析 K 與 W/L 之間的相關關係，結果如圖 4, 5 所示。由於國內育成品種的葉形較爲固定，故葉形指數與葉面積估算係數（$K_{L\times W}$ 或 K_L）的相互關係並不明顯，無論是否包含臺育 1342 號，其相關係數均不顯著（圖 4, 5-A）。而國外 15 個品種之葉形指數與葉面積估算係數（$K_{L\times W}$ 或 K_L）之間則呈顯著或極顯著正相關（圖 4, 5-B）。

綜合以上結果得知，基本上 $K_{L\times W}$ 和 K_L 與基因型的葉形有明顯正相關關係，愈是狹長的葉形品種，其葉面積估算係數的估值也愈小。但由於國內育成品種的葉形較爲固定，傾向於育成短葉片的株型，葉形指數幾乎都集中在 0.04 左右，故葉面積估算係數並不會受到葉形影響其估值大小。而本研究所使用的 15 個國外稉稻品種，其葉形的變異較爲分散，因此其所估得的葉面積估算係數與基因型種類明顯有關。正因爲如此，國內品種 K 係數的常態分布變異較小，而國外品種 K 係數的分布變異性較大。而 K_L 僅與葉長有關，由於不同品種間葉長之變異性通常高於葉長和葉寬之比例者，因此 K_L 在品種間的變異性自然也較 $K_{L\times W}$ 爲高。國內品種之平均 $K_{L\times W}$ 值爲 0.70 ± 0.01，平均 K_L 爲 0.90 ± 0.09；國外品種平均 $K_{L\times W}$ 值爲 0.72 ± 0.03，平均 K_L 爲 0.86 ± 0.14。由此看來，若欲尋得一個可適用於國內所有稉稻品種的共同葉面積估算係數來估算其全株葉面積，只能利用葉長及最大葉寬乘以 0.70。若欲考慮更省工省時的簡便模式以估算國內稉稻品種之全株葉面積，雖可進而採用 K_L 值[6]，但由於其在品種間仍有差異，範圍在 0.74 ～ 1.18 之間，恐難以尋得一個適用於所有品種的共同估計值。至於國外稉稻品種，其 $K_{L\times W}$ 和 K_L 與基因型的葉形有明顯正相關關係，因此須視基因型種類來決定其葉面積估算係數估計值。

三、國內品種利用共同 K 係數預測全株葉面積的準確度

爲進而檢測上述共同 $K_{L\times W}$ 值的預測準確度，進而利用從上述國內育成品種中所選取的 11 個品種（其中 5 個品種爲目前國內栽培面積較多的推廣品種，而其他 6 個品種則係自其餘國內品種中逢機選出）於 2000 年之試驗資料，以其葉長及最大葉寬乘以 0.70 來估算出其全株葉面積，並與實測葉面積作一比較。該 11 個品種的 $K_{L\times W}$ 值之變域在 0.689 ～ 0.727 之間（表 2），與前述 35 個國內品種 $K_{L\times W}$ 值之變域

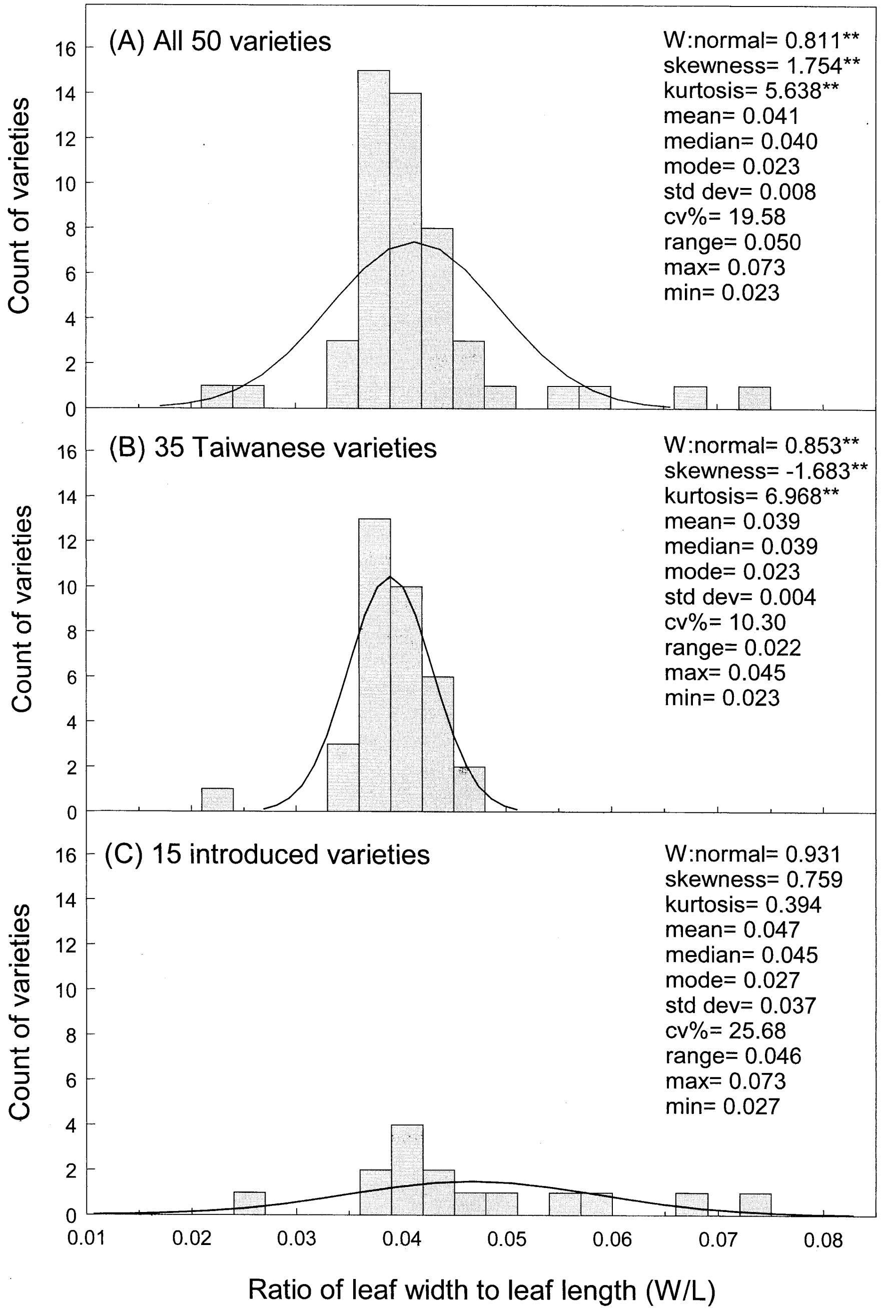

圖3. (A)所有，(B)國內，(C)國外稉稻品種的葉形指數W/L之分布。（直方圖爲觀測之頻度分布，曲線爲配合之常態分布；*, **爲假說測驗結果各達5及1%顯著性水準）

Fig. 3. Distribution of the leaf shape index W/L for estimating leaf area of japonica rice from (A) all, (B) Taiwanese, and (C) introduced varieties. (Histogram for observed frequency distribution, and fitted curve for expected normal distribution; *, **: significant at 5 and 1% level under the test of hypothesis)

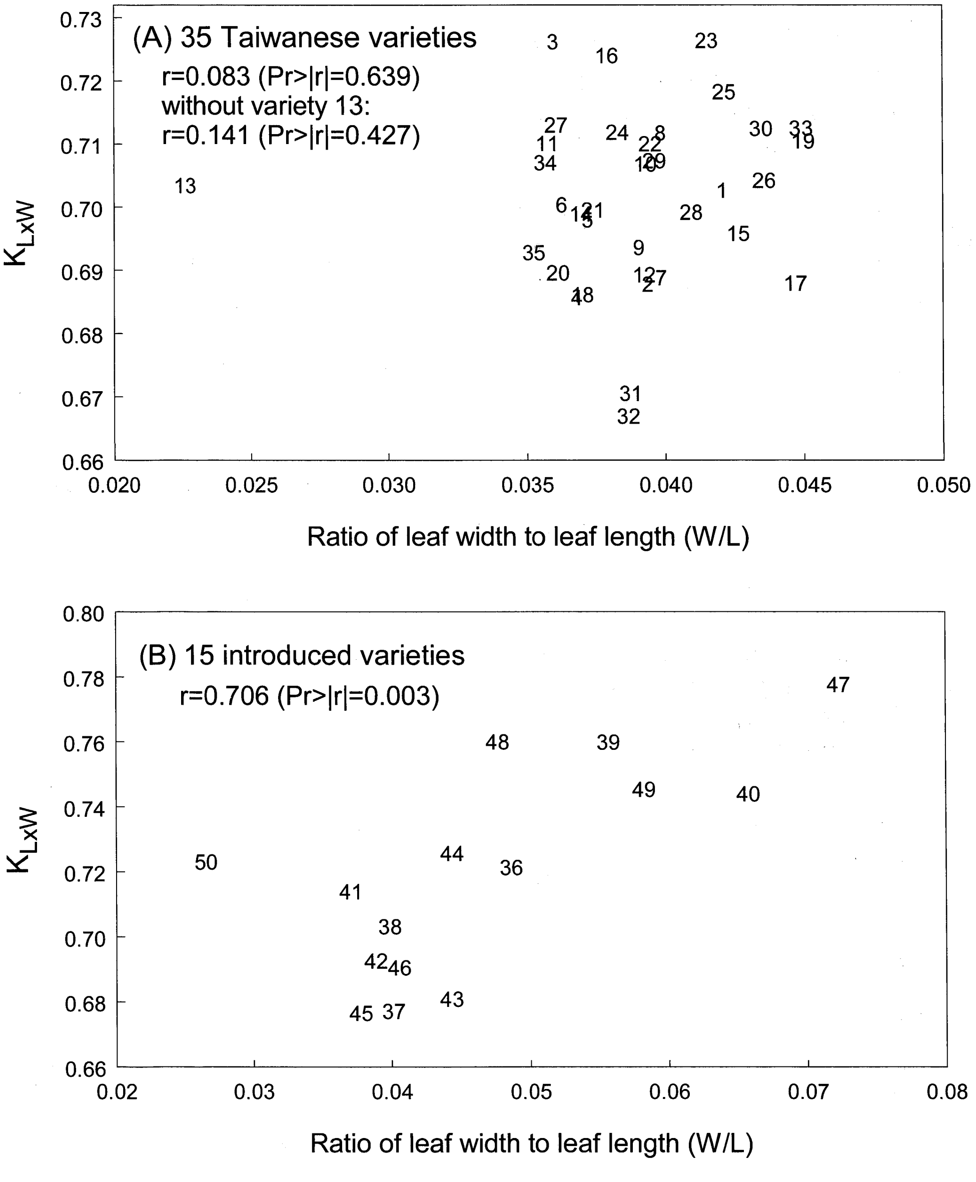

圖 4. (A) 國內及 (B) 國外稉稻品種的葉面積估算係數 ($K_{L×W}$) 與葉形指數 (W/L) 間的關係.

Fig. 4. Relationship between the $K_{L×W}$ coefficient and leaf shape (W/L) of japonica rice from (A) Taiwanese, and (B) introduced varieties.

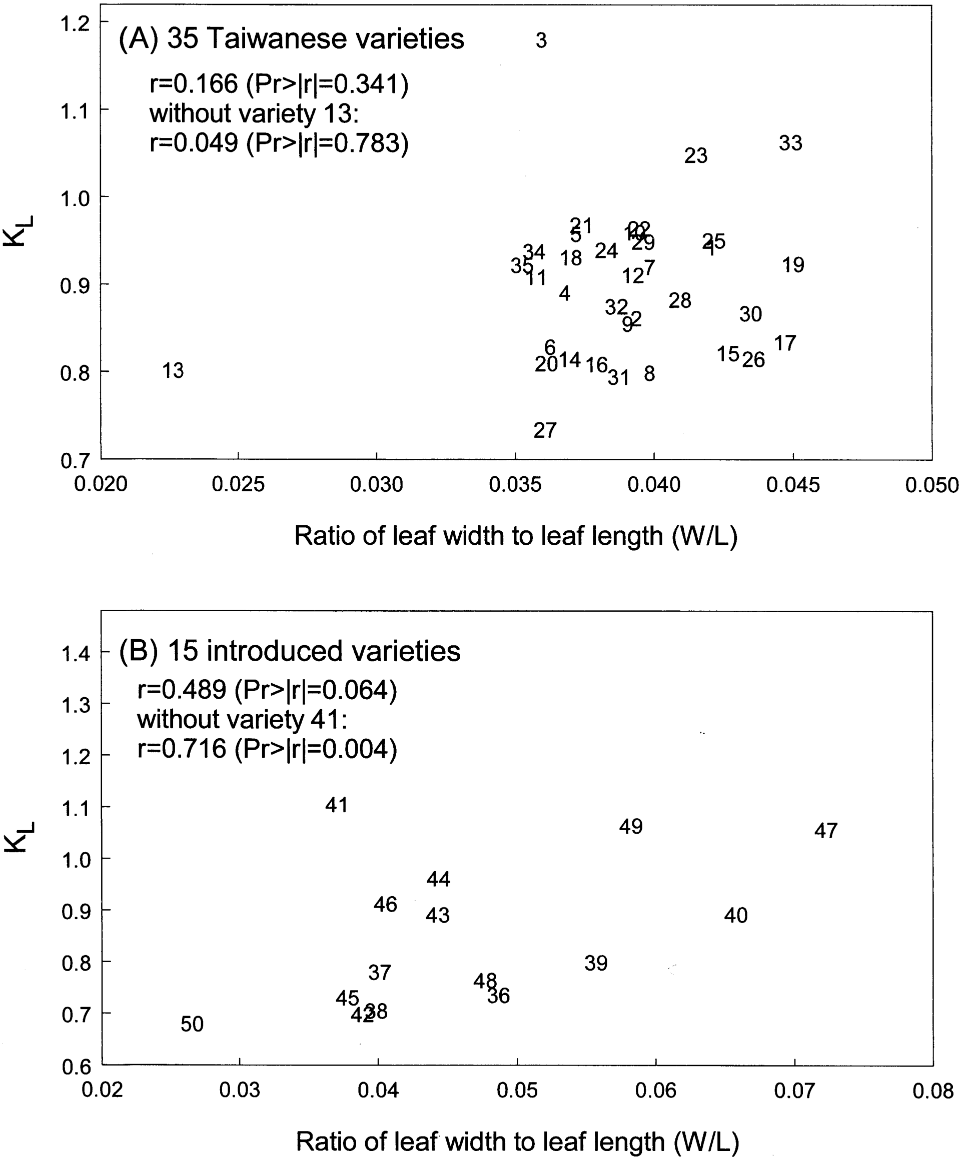

圖5. (A) 國內及 (B) 國外粳稻品種的葉面積估算係數 (K_L) 與葉形指數 (W/L) 間的關係.

Fig. 5. Relationship between the K_L coefficient and leaf shape (W/L) of japonica rice from (A) Taiwanese, and (B) introduced varieties.

(0.667～0.727，表2）相近，其預測準確度檢測結果，應該足以推至所有國內粳稻品種。預測能力之驗證結果如表3所示，利用0.70之共同$K_{L\times W}$值所預測的全株葉面積皆頗接近於實測葉面積，其平均估算一株的預測誤差均小於108cm^2，平均誤差率皆在5％以下，此與統計上一般以5%爲顯著水準之第一型錯誤率 (type I error) 相吻合，顯示利用此$K_{L\times W}$值來進行國內粳稻品種的預測能力在可接受程度之內。

表3. 十一個國內粳稻品種以共同$K_{L\times W}$值 (0.70) 估算全株葉面積的預測準確度

Table 3. Accuracy of predicting total leaf area per plant for 11 Taiwanese japonica rice varieties using the common $K_{L\times W}$ coefficient (0.7)

Variety no. ^{z}	Name	TLAm^y (cm^2)	TLAe^x (cm^2)	MD^w (cm^2)	MPD^v (%)
6	Hsinchu 64	1599.0	1618.9	29.9	1.89
7	Hualienkang 12	2294.4	2320.1	37.7	1.67
8	Kaohsiung 139	2011.0	2100.9	89.9	4.40
12	Kaohsiung 64	2118.4	2217.0	98.7	4.61
22	Taikeng 8	1879.8	1839.3	47.0	2.52
23	Taikeng 9	2266.6	2247.9	107.1	4.77
24	Taikeng 10	1953.1	1903.1	54.2	2.57
26	Taikeng Glutinous 5	1785.4	1762.0	28.8	1.64
27	Tainung 34	1715.9	1714.6	18.9	1.14
30	Tainung 67	2116.0	2071.2	61.4	2.91
33	Taipei 173	1873.9	1941.3	67.9	3.35

^{z} corresponding to the variety no. in Table 1.

^{y} TLAm= measured total leaf area per plant.

^{x} TLAe= estimated total leaf area per plant from predictive model.

^{w} MD= mean deviation.

^{v} MPD= mean percentage of deviation.

按葉面積性狀雖屬數量性狀，存在基因型與環境交感作用，然從本研究結果得知，用來簡易估算葉面積的$K_{L\times W}$係數在國內粳稻品種之間相當穩定，且不致因年度環境不同而影響其預測效果。因此，應該可以普及應用於國內品種一期作之全株葉面積估算，此有利於育種施行程序中擬評估之基因型數甚多的試驗場合。至於在二期作之不同環境條件下，是否仍然與本試驗一期作所獲結論一致，限於篇幅，將留待下一篇報告討論。

誌　謝

本研究承蒙本所農藝系生理研究室提供水稻試驗材料，特此誌謝。

引用文獻

1. 林茂森。2000。臺灣水稻品種之歸群分析。中華農學會報 1: 90-98。
2. 何培基。1988。SAS/PC程序手冊。10-19頁。台灣台北。
3. 柯建全、張山蔚、黃膺任。1999。利用影像處理鑑定害蟲之危害度：毛豆葉片。嘉義技術學院學報 63: 123-133。
4. 陳烈夫、呂椿棠、呂秀英、賴吉雄。1993。水田檳榔心芋葉面積之簡易估算法。中華農業研究 42: 162-172。
5. 陳烈夫、魏夢麗、鄭統隆、廖大經、陳正昌、曾東海、劉大江。1996。臺灣水稻產量的一些生理問題。稻作生產改

進策略研討會專刊。臺灣省農業試驗所專刊第59號：79-88頁。
6. 陳烈夫、呂秀英、魏夢麗、呂椿棠。2000。水稻非破壞性葉面積估算模式之準確度及應用性的比較。中華農業研究 49: 1-13。
7. 張富洲、劉大江。1991。水稻分蘗之生理研究（四）不同節位葉片形態性狀與稻穀產量間之相關。中華農藝 1: 21-34。
8. 葉樹藩。1977。試驗統計學。77-80頁。八版。國立台灣大學農學院生物統計研究室。
9. 蕭柊瓊、劉清。1986。玉米單葉面積與全株葉面積之簡易估算法。中華農業研究 35: 276-282。
10. Acharya, D., P. Chattopadhyay, and S. Dana. 1984. Correlations and inheritance of primary leaf size in mungbean. Indian J. Genet. 44: 121-126.
11. Beerling, D. J., and J. C. Fry. 1990. A comparison of the accuracy, variability and speed of five different methods for estimating leaf area. Ann. Botany. 65: 483-488.
12. Chandler, R. F. Jr. 1969. Plant morphology and stand geometry in relation to nitrogen. *In*: Physiological Aspects of Crop Yield (ed. by Eastin, J. D., Haskins, F. A., Sullivan, C. Y. and Van Bavel, C. H. M.). Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.
13. Daughtry, C. S. T., and S. E. Hollinger. 1984. Costs of measuring leaf area index of corn. Agron. J. 76: 836-841.
14. Evans, L. T. 1975. Crops and world food supply, crop evolution, and the origins of crop physiology. *In*: Crop Physiology-Some Case Histories (ed. by Evans, L. T.). Cambridge Univ. Press, London.
15. Francis, C. A., J. N. Rutger, and A. F. E. Palmer. 1969. A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.). Crop Sci. 9: 537-539.
16. Kato, M., K. Inthavogsa, and K. Imai. 1989. An estimation of leaf area in edible canna (*Canna edulis* Ker.). Japan. J. Crop Sci. 58: 753-754.
17. Ma, L., F. P. Gardner, and A. Selamat. 1992. Estimatiion of leaf area from leaf and total mass measurements in peanut. Crop Sci. 32: 467-471.
18. Matsushima, S. 1975. Crop Science in Rice-Theory of Yield Determination and Its Application. pp. 252-253. Fuji Pub. Co., Ltd., Tokyo.
19. Matsushima, S. 1976. High-yielding Rice Cultivation. pp.31-32, 48-54, 109-128. Univ. of Tokyo Press, Tokyo.
20. Milford, G. F. J., and J. Riley. 1980. The effects of temperature on leaf growth of sugar beet varieties. Ann. Appl. Biol. 94: 431-443.
21. Palaniswamy, K. M., and K. A. Gomez. 1974. Length-width method for estimating leaf area of rice. Agron. J. 66: 430-433.
22. Payne, W. A., C. W. Wendt., L. R. Hossner, and C. E. Gates. 1991. Estimating pearl millet leaf area and specific leaf area. Agron. J. 83: 937-941.
23. Persaud, N., M. Gandah, M. Ouattara, and N. Mokete. 1993. Estimating leaf area of pearl millet from linear measurements. Agron. J. 85: 10-12.
24. Phillips, R. B. 1983. Shape characters in numerical taxonomy and problems with ratio. Taxon 32: 535-544.
25. SAS User's Guide: Statistics. 1988. Mc:SAS Institute Inc.
26. Schneiter, A. A. 1978. Non-destructive leaf area estimation in sunflower. Agron. J. 70: 141-142.
27. SigmaPlot User's Manual. 1997. Jandel Scientific Cor.
28. SigmaScan & SigmaScan Pro User's Manual. 1995. Jandel Scientific Cor.
29. Van Arkel H. 1978. Leaf area determinations in sorghum and maize by the length width method. Neth. J. Agric. Sci. 26: 170-180.
30. Wiersma, J. V., and T. B. Bailey. 1975. Estimating of leaflet, trifoliolate, and total leaf areas of soybeans. Agron. J. 67: 26-30.
31. Yonekawa, S., N. Sakai, and O. Kitani. 1996 . Identification of idealized leaf types using simple dimensionless shape factors by image analysis. Transactions of the ASAE. 39: 1525-1533.

Genotypic Variation in Coefficients for Estimating Leaf Area of Rice [1]

Lit-Fu Chan[2], Meng-Li Wei[3], Chun-Tang Lu[3] and Hsiu-Ying Lu[3]

Summary

Leaf area of rice plant can be rapidly estimated by the non-destructive measurement of leaf dimensions. A coefficient of $K_{L\times W}$ is required when the product of leaf length (L) and maximum width (W) are used for the measurement. Furthermore, the coefficient of K_L multiplied by leaf length alone can also be used to estimate the area of both expanded and non-expanded leaves. The objective of this study was to investigate the genotypic variation of these coefficients for estimating leaf area in rice. In the first experiment carried out in 1999, 50 japonica rice varieties (including 35 varieties bred in Taiwan and 15 collected from other origins) were used as materials. The distribution of K coefficients is normal for either Taiwanese or introduced varieties tested. However, the genotypic variation of K coefficients of Taiwanese varieties was smaller than that of introduced varieties. For Taiwanese varieties, the average $K_{L\times W}$ was 0.70 ± 0.01 and K_L was 0.90 ± 0.09; while those of introduced varieties were 0.72 ± 0.03 and 0.86 ± 0.14, respectively. The genotypic variation of $K_{L\times W}$ was smaller than that of K_L. A positive correlation between K coefficients and leaf shape (ratio of W/L) was observed. However, the K values were not significantly affected by leaf shape for Taiwanese varieties since the W/L ratio of all varieties was close to 0.04. An overall average $K_{L\times W}$ value of 0.70 was therefore derived to predict leaf area of Taiwanese japonica rice varieties irrespective of the genotype considered. To test the prediction accuracy of this common $K_{L\times W}$, 11 randomly selected rice varieties were used as materials in a second experiment carried out in 2000. The results showed that all the difference between the estimated and measured leaf area was less than 5 per cent.

Key words : Rice, Leaf area, Genotypic variation, Distribution test, Leaf shape.

---

1. Contribution No. 2065 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture.

2. Research Assistant, Office of Farm Management, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Respectively, Assistant Agronomist, Assistant Agronomist, and Senior Statistician, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.